XIX.

Ueber die durch den elektrischen Funken erzeugten Nachbilder.

Von

Hermann Aubert in Breslau.

Bei einer weitern Verfolgung meiner Untersuchungen über die Nachbilder auf den peripherischen Theilen der Netzhaut stellte sich bald das Bedürfniss heraus, zu erforschen, welchen Einfluss die Dauer und die Intensität des primären, objectiven Eindrucks ausübt. Von besonderem Interesse mussten Versuche scheinen, bei denen der objective Eindruck eine verschwindend kurze Zeit dauert, und hierzu schien die Anwendung des elektrischen Funkens am geeignetsten. Dass durch ihn trotz seiner sehr kurzen Dauer Nachbilder erzeugt werden, hatten Foerster und ich bereits vor vier Jahren bemerkt (s. Foerster Hemeralepie, p. 31.). Sonst habe ich über Nachbilder nach dem elektrischen Funken keine Angaben finden können; nur eine ganz kurze und unbestimmte Angabe hat Séguin im August dieses Jahres veröffentlicht, die ich hier anführe:

Dans l'éblouissement qui succède à la contemplation d'un objet fortement lumineux, comme le disque du soleil, il est encore possible de distinguer des couleurs très-brillantes, mais très-fugitives, passant rapidement dans les yeux avant la régularisation de l'image persistante. Les couleurs que je vois ainsi sont le vert, le bleu, et le violet. J'ai refait cette observation avec la lumière des étincelles

électriques produites par un puissant appareil d'induction. Chaque étincelle malgré sa très-courte durée paraît donc faire dans l'organe de la vision une impression accidentelle, sinon directe assez durable pour qu'on y reconnaisse successivement trois couleurs, et même après ces couleurs déterminées, une teinte vague et jaunâtre par laquelle se terminent toujours les images accidentelles des objets blancs. (Note sur les couleurs accidentelles. Comptes rendus 1858. Août. T. 47. Nr. 5, p. 200.) Wie weit diese Angabe genau ist, werden wir sogleich sehen.

Gleichwohl sind diese Versuche mit verschwindend kurzer Dauer des objectiven Eindrucks von besonderer Wichtigkeit für die theoretischen Ansichten über die Nachbilder, z. B. für die von Fechner gestellte Frage „ob der complementäre Einfluss im Auge dem primären succedirt, oder sich mit ihm complicirt"; ferner für die Frage nach der Mitbetheiligung der Netzhaut, wenn nur eine kleine Stelle derselben afficirt wird; ferner für das Verhältniss der positiven Nachbilder zu den negativen, und so weiter. Im Voraus will ich bemerken, dass ich bei der Benennung der Nachbilder der Brücke'schen Bezeichnungsweise folgen werde, die mir von grosser Wichtigkeit für die Verständigung über das Geschehene zu sein scheint und die erste scharfe und consequente Trennung der Eindrücke, welche durch die Intensität des Lichtes hervorgebracht werden, von denen, welche durch die Farbe des Objects erzeugt werden, aufgestellt hat*). Brücke nennt bekanntlich „ein positives Nachbild ein solches, in dem das hell ist, was im Objecte hell ist, und das dunkel, was im Objecte dunkel ist; negativ dagegen ist das Nachbild, bei welchem das hell ist, was im Objecte dunkel ist, und umgekehrt." (Poggen-

*) Wenn man diesen Unterschied festhält, so löst sich der scheinbare Widerspruch, den Ludwig zwischen Brewster's Angabe, dass die Seitentheile ein constantes Licht lebhafter empfinden, als die mittleren, und meiner Angabe, dass ein lebhaftes Roth auf den Seitentheilen dunkler und endlich schwarz erscheint, anführt. (Ludwig Physiologie 2te Auflage Bd. I. p. 308). Brewster's Angabe ist vollkommen richtig, sie bezieht sich aber ausschliesslich auf die Intensität der Lichtempfindung, abgesehen von jeder Färbung oder Farbenempfindung.

dorff's Annalen, Bd. 84, p. 436.) In Bezug auf die Farben kann ausserdem, unabhängig von jener Benennung, ein Nachbild gleichfarbig sein, wenn es dieselbe Farbe, wie das Object hat, und complementär, wenn es eine andere (entgegengesetzte) Farbe hat. Es kann demnach geben 1) positive gleichfarbige, 2) positive complementäre, 3) negative complementäre, 4) negative gleichfarbige Nachbilder; die 3 ersten Combinationen kommen wirklich vor, die letzte ist noch nicht beobachtet worden.

Wir wollen nun untersuchen:

1) die Nachbilder, welche entstehen, wenn der elektrische Funken direct angesehen wird;

2) wenn derselbe von peripherischen Netzhautregionen aufgefangen wird;

3) die Nachbilder, welche entstehen, wenn der Funken durch ein farbiges Glas gesehen wird;

4) die Nachbilder beim Betrachten von Objecten, welche durch den Funken momentan beleuchtet werden.

So leicht und einfach die Frage auch scheinen mag, so stellen sich bei ihrer Prüfung durch Versuche mancherlei Schwierigkeiten ein.

Die Versuche müssen grösstentheils im finstern Zimmer angestellt werden, theils damit man die Objecte nur während der Beleuchtung durch den Funken sieht, theils um den Lichteindruck vom Funken selbst durch den Contrast zu erhöhen. Wenn man sich aber nach dem Aufenthalte im gewöhnlichen Tageslichte in einen finstern Raum begiebt, so ändert sich die Empfindlichkeit der Retina sehr bedeutend und es muss sich damit der primäre Eindruck des Funkens und die Nachwirkung desselben ändern. Die Vorsicht erfordert daher wenigstens, dass man die erste Zeit, wo man sich im finstern Zimmer befindet, nicht zu Versuchen verwendet; man wird auch finden, dass die Erscheinuugen erst mit gehöriger Intensität auftreten, wenn man sich wenigstens 10 Minuten im Finstern aufgehalten hat. Ist das Zimmer nicht total finster, so kann man wohl annehmen, dass die Retina auf einem ziemlich stationären Reizungszustande sich befindet, der sich wenigstens im Laufe der nächsten

halben Stunde nicht sehr bedeutend ändert. Dieser Zustand wird nun allerdings durch den Eindruck des elektrischen Funkens wieder gestört; man wird daher gut thun, immer einige Minuten zwischen jeder Beobachtung vergehen zu lassen, und dies auch zu thun, wenn man die Laden des Fensters hat öffnen müssen. Die Verfinsterung des Zimmers muss ferner so stark sein, dass man von den zu beobachtenden Objecten durchaus nichts wahrnimmt, weil man sonst leicht glauben kann, da ein Nachbild zu sehen, wo man ein wirkliches Bild sieht.

Ferner ist es schwer, im finstern Zimmer den Ort zu fixiren, wo der Funken überspringen wird, und unmöglich scheint es, während des Nachbildes mit Sicherheit die Richtung der Augenaxen und die Accommodation für dieselbe Entfernung beizubehalten. Die Fixation des Ortes, wo der Funken überspringt, wird indess dadurch möglich, dass fortwährend kleine Funken an verschiedenen Stellen der Riess'schen Flasche und der zuleitenden Drähte überspringen. Durch diese kann man sich über die Lage der beiden Kugeln orientiren und sich für dieselbe accommodiren. Ausserdem hat man einen Beweis dafür, dass man den Funken wirklich mit dem Centrum der Netzhaut gesehen hat, darin, dass sich das Nachbild nicht bewegt. Die Bewegungen der Nachbilder nach abwärts, aufwärts oder nach der Seite, welche auch schon dem hochverdienten Beobachter der Nachbilder, Scherffer, aufgefallen sind (Abhandlung von den zufälligen Farben. Wien, 1765, p. 61), scheinen dadurch bedingt zu sein, dass das Nachbild nicht im Centrum der Retina liegt. Da man nun gewohnt ist, das Centrum der Netzhaut auf die sichtbaren Objecte zu richten, die man beobachten will, so wird man dies auch thun, wenn das Bild subjectiv ist, und man wird dazu im Finstern ganz besonders geneigt sein, wo man keinen andern Punkt hat, den man fixiren könnte, als etwa das subjective Nachbild. Liegt dieses nun z. B. 5° von dem gelben Flecke entfernt und über ihm, so wird man die Sehaxen um diese 5° senken, um das Bild mit dem Centrum betrachten zu können. Da das subjective Bild aber während dieser Bewegung wieder weiter rückt, so wird man auch mit der

Augenaxe wieder weiter nachgehen, bis endlich die Muskeln nicht mehr im Stande sind, den Bulbus in derselben Richtung weiter zu bewegen. Alsdann sind wir genöthigt, einen Lidschlag und eine Bulbusbewegung auszuführen, durch die nun das Bild wieder an seinen früheren scheinbaren Ort im Raume rückt. Diese Erscheinung, dass sich das Nachbild bewegt, tritt sehr constant im Finstern auf, wenn man eben das Object nicht direct gesehen hat, was man sehr gut beim Ueberspringen des Funkens bemerkt, so dass man schon in diesem Momente weiss, ob sich das Nachbild bewegen wird oder nicht. Es ist sehr schwer, diese Bewegungen im Finstern zu unterlassen. Kann man dagegen im Halbdunkel einen Punkt, oder auch im Finstern einen nur schwachleuchtenden Punkt fixiren, so hören damit jene Bewegungen des Nachbildes auf. — Tritt nun im Finstern keine Bewegung des Nachbildes auf, so kann man daraus andrerseits schliessen, dass das Centrum der Retina das Bild des Funkens aufgefangen hat.

In Betreff des Beibehaltens der Richtung der Augenaxen und der Accommodation während der Dauer des Nachbildes im Finstern, kann man wohl schliessen, dass man dies gethan hat, wenn sich die scheinbare Grösse des Nachbildes nicht verändert. Man muss das aus dem sogenannten Lehot'schen Versuche schliessen, den übrigens schon Scherffer gemacht hat*) und den kürzlich Lubimoff noch einmal erfunden hat (Comptes rendus T. 47. p. 27. 5. Juillet 1858).

---

*) Scherffer sagt in seiner Abhandlung von den zufälligen Farben p. 15: » . . . wenn die weisse Fläche, auf die wir das Auge wenden, weiter von demselben entfernt ist, als der wahre Flecken, den wir betrachtet haben, so kömmt uns der Umfang des Nebenbildes um ebenso viel grösser vor, als des wahren. Denn wir halten einen Gegenstand für grösser, der in einer grösseren Entfernung ein gleich so grosses Bild abmalet, als der andere: weil nur der Eindruck der wahren Figur in dem Auge auf ebendemselben Orte verharret, auf den er Anfangs geschah, und wir sein Bild auf eben jener Fläche zu sehen glauben, in welcher sich die Gesichtsaxen schneiden, so kömmt uns dieses Nebenbild nothwendig vergrössert vor.« Scherffer Dissertation sur les couleurs accidentelles, Journal de Physique de Rozier T. XXVI. année 1785. Scherffer Dissertatio. Lateinisch vom Jahre 1761.

Lehot's Angabe ist nach Fechner (Repertorium 1832 p. 229): »Wenn man ein rothes Feld fixirt hat und den Blick hierauf gegen einen weissen

Zur Erzeugung des Funkens wurde eine Riess'sche Flasche benutzt; die Entfernung der beiden Messingkugeln lässt sich bei ihr genau bestimmen und man kann wohl auf nahezu gleich starke und helle Funken rechnen; indess werden dabei ohne Zweifel Verschiedenheiten in der Helligkeit durch die Temperatur, den Feuchtigkeitsgehalt der Luft u. s. w. herbeigeführt; dasselbe kann man von der Ungleichmässigkeit der Farbe des Funkens behaupten. Bei gemässigtem Tageslichte hatte derselbe allerdings constant eine himmelblaue Farbe, im Finstern dagegen erschien er fast rein weiss, doch so, dass er mitunter ein wenig gelb, andere Male mehr bläulich tingirt schien. Diese Ungleichheiten können indess bei einer grossen Anzahl von Beobachtungen nicht von besonderem Einflusse auf die Resultate sein. — Viel störender ist dagegen der mit dem Ueberspringen des Funkens verbundene Knall. Man kann, wie aus Fechner's Beobachtungen hervorgeht, nicht vorsichtig genug in der Vermeidung von Augenlidbewegungen sein, und doch wird man bei einem starken Funken schwerlich darüber sicher sein können, dass man keinen Augenlidschlag ausgeführt habe. Allerdings gewöhnt man sich mit der Zeit sehr an den Knall, so dass man nicht mehr dadurch erschreckt wird und keine Zuckung macht — dass indess in unserm Falle jede Bewegung der Augenlider ausgeschlossen gewesen ist, wage ich nicht zu behaupten. Es ist aber sehr wichtig, gerade die allerersten Affectionen der Netzhaut nach dem Ueberspringen des Funkens zu bestimmen; ich habe daher in einer Reihe von Experimenten sofort nach den Knalle die Augen geschlossen, und nicht wieder vor dem Vergehen des Nachbildes geöffnet, kann aber nicht sagen, dass dadurch etwas in dem Verlaufe des Phänomens geändert worden wäre. Das störendste Moment ist jedenfalls die sehr kurze Dauer des Funkens, die aber doch gerade wesentlich ist. Man übersieht gar zu leicht etwas oder sieht es so unbestimmt,

---

Grund wendet, so sieht man ein grünes Feld, welches aber kleiner, eben so gross oder grösser als das rothe Feld erscheint, je nachdem das weisse Papier, welches man ansieht, dem Auge näher, in gleichem oder in grösserem Abstande ist, als das rothe Feld.«

dass man den lebhaftesten Wunsch hat, das Phänomen möchte ein klein wenig länger dauern. Es ist daher immer die gespannteste Aufmerksamkeit auf die Erscheinung zu concentriren und man muss ausserdem nicht alle Abwandlungen mit einem Male erfassen wollen, sondern in den verschiedenen Versuchen bald auf das eine, bald auf das andre Moment in der Metamorphosenreihe des Nachbildes achten. Dazu ist natürlich eine sehr grosse Anzahl von Einzelversuchen nothwendig und ich kann daher nur an Alle, die diese Versuche wiederholen, die Bitte richten, nicht nach wenigen Versuchen über meine Resultate abzuurtheilen.

1. Nachbilder nach directer Betrachtung des Funkens.

Betrachtet man den elektrischen Funken bei Tagesbeleuchtung, so hat er eine entschieden blaue Färbung, ein schönes Himmelblau. Er erscheint bei einer gewissen Stärke, z. B. bei 10—11 Mm. Entfernung der beiden Messingkugeln an der Riess'schen Flasche nicht als ein scharf begrenzter Streifen zwischen den beiden Kugeln, sondern mit unbestimmten Contouren, indem seine Lichtintensität nach der Seite hin abnimmt. Lässt man nun bei nicht zu greller Tagesbeleuchtung, z. B. eine Stunde vor Untergang der Sonne, oder bei halbgeschlossenen Laden des Fensters den Funken überspringen, fängt ihn mit dem Centrum der Netzhaut auf und wendet die Augen sofort auf ein weisses Papier: so sieht man einen bläulich violetten Strich, welcher schmaler ist, als der überspringende Funken, aber von sehr lebhafter Färbung und umgeben von einem elliptischen, beinahe kreisförmigen Hofe, dessen Durchmesser nur wenig grösser ist als der des Streifens. Der Hof ist rein gelb und nicht scharf begrenzt. Dieser gelbe Hof bleibt bis zum Ende der ganzen Erscheinung. Der centrale oder Kernstreifen geht aus dem bläulichen Violet in ein reines Violet, aus diesem in ein röthliches Violet über; in den nächsten Secunden wird die Färbung immer mehr roth, bis ein reines Roth erscheint, welches aber sogleich etwas gelblich wird, ins Orange übergeht und indem auch dieses immer heller wird, endlich gelb wird. Nun fällt es etwa eine halbe Secunde lang mit

dem gelben Hofe zusammen, dann aber bemerkt man einen farblosen Kernstreifen in dem gelben Hofe. Dieser weisse oder farblose Streifen verdunkelt sich, ohne im Anfange eine Farbennüance zu zeigen, wird indess bald grünlich tingirt und geht in ein schönes Saftgrün über. Dies wird wieder blasser und unscheinbarer, vermischt sich allmälig mit dem gelben Hofe, dieser verblasst gleichfalls, zieht sich etwas zusammen und vergeht. Alle diese Farben des Kernstreifens sind von besonderer Schönheit und Lebhaftigkeit; sie lassen sich nur mit den Farben des Spectrums oder denen der Edelsteine vergleichen.

Etwas anders gestalten sich die Erscheinungen, wenn man gleichfalls bei matter Tagesbeleuchtung das Nachbild auf schwarzen Sammet wirft. Man sieht hier zunächst ein Nachbild von derselben Bläue, wie sie der Funken selbst hatte, umgeben von einem gelben Hofe, der indess etwas grösser ist, als der Hof auf weissem Papiere. Der Kernstreifen geht nun wieder allmälig zu Violet, dann zu Roth über. Aus dem Roth geht er nun aber nicht in Orange und Gelb über, vielmehr verdunkelt er sich, nachdem er roth geworden ist, so dass ein schwarzer Streifen im gelben Hofe erscheint. Allmälig wird der Streifen mit einem grünen Teint überzogen, die grüne Färbung wird lebhafter, fängt indess dann an, sich mit dem gelben Hofe zu vermischen und der Hof verschwindet, wie ein nasser Fleck auf einem erwärmten Bleche.

Bedeutender weichen hiervon die Abwandlungen des Nachbildes ab, wenn dasselbe im finstern Zimmer beobachtet wird. Der Funken erscheint als heller Fleck, ein bläulich oder gelblich tingirtes Weiss, und ist mit einem röthlichgelben Lichthofe umgeben. Dieser Lichthof hat etwa die Grösse eines Tellers, während der helle Funken die Grösse eines Viergroschenstücks hat. Unmittelbar nachdem der Funken übergesprungen ist, tritt ein blauer Nebel von etwa Tellergrösse ohne centralen Kern hervor, welcher am Rande mit einem röthlichgelben Nebel umgeben ist. Dieser gelbrothe Nebel zieht sich zusammen, indem der blaue Raum schnell vor ihm auf einen kleineren Kreis zurückweicht; zugleich wird das Blau intensiver und

heller. Dieser Process verläuft sehr schnell, binnen höchstens einer halben Secunde, und dann bleibt nur ein schmaler, horizontaler Streifen, wahrscheinlich dem intensivsten Theile des Funkens entsprechend, von derselben Grösse, wie die in den vorigen Versuchen beschriebenen centralen Streifen, zurück. Er hat manchmal noch ganz kurze Zeit eine bläuliche Nüance, wird aber dann sogleich roth und ist dann wieder von einem röthlich oder grünlich gelben Hofe umgeben. Dieser Hof bleibt meist bis zu Ende. Der Kernstreifen wird darauf gelb, dann weiss. In der gelben, mitunter auch erst in der weissen Phase ist er von dem Hofe durch einen schwarzen Ring getrennt. Das Nachbild hat also folgende Gestalt: mitten ein sehr schmaler, hellgelber Streifen von etwa 10 Mm. Länge und 1 Mm. Breite, von einem schwarzen, 2—3 mal so starken Ringe umgeben, und um diesen ein gelbrother nach aussen verschwimmender Nebel, ungefähr von der Grösse eines Handtellers. In dem schwarzen Ringe geht mitunter der centrale Kern auf, so dass nur ein dunkler Fleck im hellen Hofe erscheint; oder der centrale helle Fleck bleibt, überzieht den schwarzen Ring und vermischt sich mit dem Hofe. Oder der Hof verliert sich in der letzten Phase und der Kern bekommt undeutliche Contouren und vergeht als unbestimmter Fleck. — Bisweilen habe ich ganz im Anfange des Nachbildes ein eigenthümliches Wogen in dem Hofe bemerkt, so dass es aussieht, als ob der Hof aus mehreren Kreisen bestände, die gegen einander wogen und sich dabei auf den oben beschriebenen blauen Nebel zurückziehen. — So sind die Erscheinungen, wenn der elektrische Funken mit dem Centrum der Netzhaut gesehen worden ist und sich nicht bewegt.

Sehr auffallend ist bei dieser Erscheinung die gleichzeitige Mitbetheiligung der ganzen übrigen Netzhaut, die sich kaum schlagender demonstriren lässt. Ist nämlich das Zimmer nur so finster, dass man helle Gegenstände als matte Nebel sehen kann, oder sind im Fensterladen kleine Ritzen und Löcher sichtbar, so verschwinden diese sogleich nach dem Ueberspringen des Funkens und fangen erst an wieder zu erscheinen, wenn das Nachbild in den letzten Phasen

angekommen ist. Bei diesen Versuchen wurde der Funken mit beiden Augen betrachtet.

Es geht hieraus hervor:

a) Dass das Nachbild, welches durch directe Betrachtung des elektrischen Funkens entsteht, zuerst ein positives ist, welches verhältnissmässig am längsten dauert, dann ein negatives (dunkles) von kürzerer Dauer wird. Dieser Uebergang findet statt, mag das Nachbild im Finstern oder im Hellen beobachtet werden. In Bezug auf die Farben findet ein fortwährender Wechsel statt, so dass hier von complementären Farben nicht gesprochen werden kann. Es zeigt sich hier zunächst eine grosse Verschiedenheit, bedingt durch helle und dunkle Umgebung; das Spiel der abklingenden Farben ist bei weitem schöner, wenn Tageslicht auf die Retina einwirken kann, als in der Dunkelheit. Man sieht zugleich, welchen Einfluss der Contrast bei der Wahrnehmung der Farben hervorbringt: Jedermann wird den elektrischen Funken bei matter Tagesbeleuchtung blau nennen, im Finstern dagegen ist er kaum gefärbt und erscheint bald ein wenig bläulich, bald ein wenig gelblich tingirt. Der Contrast ist hier allerdings ein doppelter; erstens ist das Auge vor dem Ueberspringen des Funkens in tiefer Finsterniss und der Funken wirkt als ein verhältnissmässig sehr starkes und deswegen blendendes Licht; bei einem blendenden Lichte tritt aber die Farbennüance immer zurück. Zweitens ist die Umgebung stark contrastirend und sehr dunkel, wodurch gleichfalls eine Farbe an Intensität verliert, während die Helligkeit zunimmt. Man kann sich davon, wie ich schon früher gezeigt habe, leicht überzeugen, wenn man ein rothes Quadratcentimeter auf ein tief schwarzes Papier oder auf schwarzen Sammet legt, und ein Quadratcentimeter von demselben rothen Papier auf ein weisses Blatt Papier. Sieht man dann beide aus einer Entfernung von 5—10 Fuss an, so wird das Quadratcentimeter auf Schwarz fast Orange erscheinen, während das auf weissem Papier sehr dunkelroth erscheint, und man wird einen Andern nicht überreden können, dass beide Quadrate von demselben Bogen abgeschnitten sind. In ähnlicher Weise wird also auch die Farbennüance

des Funkens sich ändern. Hiermit harmonirt die viel schönere Färbung der Nachbilder bei Tagesbeleuchtung gegenüber der blossen Nüancirung des Nachbildes mit vorherrschendem Weiss in der Finsterniss. Im Tageslichte wirken Farbeneindruck und Lichteindruck gemeinschaftlich zur Hervorbringung der abklingenden Farben; im Dunkeln wirkt nur der Lichteindruck. Daher tritt auch schon eine Verschiedenheit ein, je nachdem man das Nachbild auf schwarzen Sammet oder auf weisses Papier wirft: die Farben sind auf weissem Papier bei weitem am schönsten. — Erwägt man die Verschiedenheit in der Färbung des Nachbildes im Hellen und Dunkeln, während der Uebergang vom Hellen (positiven) zum Dunkeln (negativen) derselbe bleibt, mag das Nachbild im hellen oder im dunkeln Zimmer beobachtet werden; so wird man die Brücke'sche Unterscheidung von positiv und negativ sehr glücklich gewählt finden. Die Plateau'sche Nomenclatur ist hier gar nicht durchzuführen, wie er sie auf pag. 402 seiner berühmten Abhandlung in den Annales de Chimie et de Physique, T. 58 (1835) aufstellt: L'intervalle qui s'écoule entre l'instant où la rétine est soustraite à l'action de l'objet coloré, et celui où l'impression commence à prendre l'état négatif, constitue ce que l'on entend par la Persistance des impressions de la rétine; et les phases négatives de l'impression constituent le phénomène des couleurs accidentelles. Wo hört in unsern Versuchen die Fortdauer der Eindrücke auf die Retina auf und wo fangen die zufälligen Farben an?

b) Auffallend ist ferner in diesen Versuchen die Form und Grösse des überspringenden Funkens und seines Nachbildes. Der überspringende Funken erscheint nicht als eine scharf begrenzte Linie, sondern ist an den Seiten verschwommen. Im Nachbilde dagegen erscheint er im hellen wie im finstern als ein scharf begrenzter Strich, der erst ganz am Ende der Erscheinung seine Begrenzung verliert. Ausserdem erscheint der überspringende Funken grösser als sein Nachbild, wenn dieses in dieselbe Entfernung, welche der Funken vom Auge hatte, projicirt wird. Wir haben es hier ohne Zweifel mit Irradiationserscheinungen zu thun. Wie weit sich bei dieser

Klasse von Erscheinungen die brechenden Medien des Auges betheiligen und wie weit eine sympathische Affection der Retina zu statuiren sei, darüber sind die Verhandlungen keineswegs geschlossen. Die angeführten Beobachtungen scheinen mir aber für die letztern, also für eine scheinbare Vergrösserung des Funkens durch sympathische Affection der den direct getroffenen benachbarten Retinatheile zu sprechen. Wäre nämlich die Verbreiterung des Funkens durch die brechenden Medien bedingt, so würde ein grösseres, verwaschenes Bild auf die Retina fallen, und dann müsste das Nachbild die Form und Grösse dieses Bildes haben. Das ist nicht der Fall. Gelangt dagegen das Bild des Funkens als kleiner, scharf begrenzter Streifen zur Retina, also so, wie das Nachbild erscheint, so kann dasselbe gleichwohl, vermöge seiner grossen Lichtstärke, die benachbarten Theile der Retina mit afficiren und dadurch eine scheinbare Vergrösserung erzeugen. Da aber diese Vergrösserung nicht dem auf die Retina geworfenen Bilde angehört, sondern sympatisch erzeugt worden ist durch ein kleineres reelles Bild; so wird die Affection, so weit sie sympatisch war, im Nachbilde verschwinden und nur das bleiben, was dem reellen Bilde entspricht, oder wenn die sympathische Affection fortdauert, so wird sie sich in ganz anderer Weise kund geben müssen, als die directe Affection. Dies letztere tritt nun in der That ein; denn der directen Affection der Netzhaut entspricht ohne Zweifel der centrale Kernstreifen, dem sympatisch erregten Theile dagegen der gelbe Hof. Damit ist es ganz im Einklange, dass der Hof bei dem im Finstern beobachteten Funken so sehr gross ist; ist die Erscheinung auf eine Fortpflanzung des Reizes auf der Retina zu beziehen, so ist es ganz in der Ordnung, dass im Finstern, wo die Empfindlichkeit für schwache Lichteinwirkungen vermehrt ist, die sympathische Affection eine grössere Stelle der Retina einnimmt und also der Hof grösser erscheint. Das mitunter beobachtete Wogen in dem Hofe und das schnelle Zurückgehen desselben dürften auch für die letztere Auffassung sprechen, Dass die Retina in noch weiterer Ausdehnung von dem Lichtreize afficirt wird, zeigt auch der erwähnte Umstand, dass auf den jenseits

des Hofes gelegenen Theilen, wo also keine bemerkbare Lichteinwirkung stattfindet, ein solcher Blendungszustand hervorgerufen wird, dass lichtschwache Objecte während der ersten Secunden des Nachbildes nicht wahrgenommen werden. Es findet also hier eine doppelte Affection der Retina statt, die man als sympathische und antagonistische unterscheiden könnte, und sympathisch die Erregung nennen, welche eine Lichtempfindung hervorruft, antagonistisch diejenige, welche, ohne eine subjective Lichtempfindung zu erzeugen, die Wahrnehmung objectiver Lichteindrücke schwächt oder aufhebt. Dieser Befund, dass die Retina so weit von der afficirten Stelle miterregt wird, ist keineswegs überraschend, denn schon aus den von Prieur de la Côte d'Or (Annales de Chimie et de Physique T. 54 année 13, conf. Plateau ibid. T. 58 année 1835, pag. 361) und noch mehr aus den von Chevreul (Mémoires de l'Institut T. XI, 1832, p. 447) angestellten interessanten Untersuchungen über den Einfluss gleichzeitig gesehener Farben aufeinander geht hervor, dass zwei farbige Streifen von 2 Centimeter Breite sich in ihren Nüancen modificiren, wenn sie um ihre dreifache Breite von einander entfernt liegen. Auch die Beobachtungen an farbigen Schatten gehören hierher, denn auch bei diesen wird ja, durch Affection einer Stelle der Retina, eine fern davon liegende Stelle derselben beeinflusst. Endlich gehört hierher die Erscheinung, dass durch ein starkes auf eine Stelle der Retina einwirkendes Licht andere Stellen der Retina für ein schwaches Licht unempfindlich werden, eine den Astronomen geläufige Erscheinung.

So schliessen sich diese Beobachtungen des elektrischen Funkens dem von Fechner ausgesprochenen Satze an (Poggendorff's Annalen, Bd. 50, p. 443):

„Der Eindruck, den eine Stelle der Retina empfängt, reagirt auf die anderen Stellen der Netzhaut mit und zwar wird, wenn auch nur ein sehr begrenzter Theil der Netzhaut getroffen wird, der ganze übrige Theil der Netzhaut in Mitleidenschaft gezogen."

Diese Mitleidenschaft kann nun entweder sympathisch (positiv) sein, indem auf andern, als den afficirten Theilen auch Licht empfunden wird, oder antagonistisch (negativ), indem kein subjectives

Licht empfunden und auch objectives Licht nicht wahrgenommen wird. Ich möchte daher dem andern Satze Fechner's nicht unbedingt beistimmen, „dass die Veränderungen des direct und des sympathisch afficirten Theiles stets complementär zu einander sind“. denn der Kernstreifen und sein Hof waren nicht complementär zu einander gefärbt, was sich noch deutlicher in den Versuchen mit farbigen Gläsern, durch die der Funken gesehen wurde, zeigte. Da ich indess später (unter 4) Beobachtungen mitzutheilen habe, welche mit Fechner's Satz in Einklang sind, und Fechner selbst viele Beobachtungen für denselben angeführt hat, so glaube ich, dass derselbe zwar für viele Erfahrungen Geltung hat, dass aber weitere Beobachtungen nöthig sind, um zu eruiren, ob er allgemeine Geltung hat, oder nicht.

c) Die auch hier beobachteten Oscillationen (Plateau) werden unter 4 besprochen werden.

2. Nachbilder vom elektrischen Funken auf den peripherischen Theilen der Netzhaut.

Um die Entfernung des Funkens und seines Bildes von dem Centrum der Retina bestimmen zu können, musste erstens ein Punkt im finstern Zimmer fixirt werden, zweitens musste der überspringende Funken in der Peripherie eines Kreises liegen, dessen Mittelpunkt das Auge, dessen Halbmesser die Entfernung vom Auge zum fixirten Punkte war. Als Fixationspunkt diente ein in dem Pfropfen einer Flasche befestigtes Streichhölzchen, welches kurz vor dem Versuche mit nassen Fingern gerieben wurde und dann genügend glänzte ohne zu beleuchten. Es befand sich in gleicher Höhe mit den beiden Kugeln der Riess'schen Flasche. Ferner war auf dem Tische, auf dem die Flasche stand, ein Kreisbogen von 10 zu 10 Graden abgetheilt, aufgemalt und endlich ein Brett mit einem Ausschnitte auf dem Tische so angebracht, dass, wenn der Kopf an dasselbe angelehnt wurde, sich das Auge im Mittelpunkte des Kreises und in gleicher Höhe mit den Kugeln der Flasche befand. Figur I. Bei dem Versuche wurde also das Auge und zwar immer das rechte Auge ins Centrum, das Streichhölzchen auf 0° und die Riess'sche Flasche um gewisse

Grade vom Fixationspunkte entfernt gebracht. Die Funken sprangen über bei 10°, 20°, 30°, 45°, 60°, 70°, 80°. In allen diesen Entfernungen vom Centrum erschien immer der Funken als ein grosser glänzender Fleck ohne bestimmte Begrenzung und Färbung, und ebenso erschien das Nachbild; es war nur gelblich tingirt. Besondere Unterschiede in der Helligkeit seines Centrums und seiner Peripherie waren auf den jenseits 20 Grad gelegenen Theilen nicht mehr zu bemerken, ebensowenig bestimmte Phasen, es wurde nur im Verlaufe einiger Secunden matter. Bei 10° und auch noch bei 20° liess sich ein hellerer Kern, aber auch nicht bestimmt begrenzt, wahrnehmen, an dessen Stelle nach Verlauf einiger Secunden ein dunkler Fleck (in dem hellen Nebel) auftrat. In vielen Versuchen ist mir ein starkes Wogen (Oscillation) im Hofe des Nachbildes aufgefallen, ausserdem war der Hof und das ganze Nachbild von viel bedeutenderer Grösse, als bei directem Sehen. Farben des Nachbildes habe ich nicht bemerken können, auch nicht wenn der Funken durch farbige Gläser indirect gesehen wurde; es war dann nur viel lichtschwächer. Vielleicht würde eine Unterscheidung von Farben eher gelingen, wenn man die Versuche im Halbdunkel anstellte. — Die Nachbilder, welche in der Nähe des gelben Fleckes bei ungenauer Fixation entstehen, verhalten sich, so weit sie ohne Augenlidbewegung verfolgt werden können, ebenso wie die centralen. — Auffallend ist auch bei diesen Versuchen das Verschwinden des glänzenden Streichhölzchens, welches fixirt wurde, nach dem Ueberspringen des Funkens und während der ersten Secunden des Nachbildes. Etwas störend wirken dagegen die Nachbilder, welche von den im Zimmer befindlichen, durch den Funken erleuchteten, Gegenständen gewonnen werden.

Es zeigt sich also auch in diesen Versuchen das Abnehmen der Schärfe für das Erkennen der Form und der Farbe nach den peripherischen Theilen der Netzhaut hin. Es ist fast immer nur der Eindruck einer hellen nicht scharf begrenzten Fläche geblieben, er ist also positiv gewesen; nur mehr nach dem Centrum hin ist der Uebergang in die negative Phase (einen dunklen Kern) zu bemerken gewesen. Diese Beobachtung war gleichwohl für mich sehr über-

raschend, weil sowohl Foerster wie ich uns häufig bemüht hatten, Blendungsbilder durch indirectes Sehen in die Sonne oder in ein helles Lampenlicht auf den peripherischen Theilen der Netzhaut zu erzeugen, und uns dies nie geglückt war. Wir haben weder positive noch negative Bilder bemerken können. Nun würden allerdings negative Bilder dort immer eine grosse Unsicherheit haben und es ist mir bei einer bestimmten Form des Versuchs so vorgekommen, als befänden sich dunkle Stellen auf der Peripherie, wenn ich längere Zeit in die helle Lampe und dann auf einen weissen Bogen gesehen hatte. Sollte sich diess in weiteren Versuchen, mit denen ich noch beschäftigt bin, bestätigen, so würde vielleicht eine schnelle Ermüdung der Seitentheile für blendendes Licht zu statuiren sein, was indess wieder nicht zu meinen früheren Versuchen passen würde, in denen die Dauer der im diffusen Tageslichte erzeugten Nachbilder nur wenig kürzer war, als die der centralen. Hier fehlen also noch Versuche.

3. Nachbilder, wenn der Funken durch ein gefärbtes Glas betrachtet wird.

Der Funken, durch ein farbiges Glas gesehen, ist bedeutend lichtschwächer; leider verhalten sich aber hierin die Gläser ganz verschieden, beim rothen Glase ist die Lichtstärke z. B. viel geringer, als beim grünen, bei diesem schwächer als beim blauen. Die Entfernung der Messingkugeln betrug immer in diesen Versuchen 10 Mm. oder 11 Mm. Es ist hier viel schwieriger, einen Punkt zu fixiren, weil man wegen der Schwächung der Lichtintensität kaum noch die kleinen von den Drähten ausstrahlenden Lichtbüschel bemerkt und daher die Orientirung viel schwieriger ist; indess ist es mir doch gelungen, Nachbilder, die sich nicht bewegten, zu bekommen. Man muss auch darauf Acht haben, dass die Gläser nicht mit Wasserdampf beschlagen, weil man sonst Lichthöfe bekommt, die von dem Beschlage des Glases herrühren und die Beobachtung verwirren. Ganz zu vermeiden ist ein sehr lichtschwacher Hof indess überhaupt nicht, wenn man eine Flamme durch gefärbte Gläser betrachtet.

Rein rothes Glas (überfangen, lässt nur Roth durch).

Der Funken erscheint intensiv, roth mit rothem Hofe, von dem er nicht deutlich getrennt ist, und sehr lichtschwach. Unmittelbar nach dem Ueberspringen erscheint ein ziemlich tiefes Grün, dann ein blasses rundes Nachbild, von dem ich mich vergebens bemüht habe zu bestimmen, ob es grün oder roth ist. Stellte ich mir's in Gedanken grün vor, so hätte ich es eher roth nennen mögen und umgekehrt. Wer nicht in dem Falle gewesen ist, sich strenge Rechenschaft über Farbennüancen zu geben, der wird diese Bemerkung vielleicht abgeschmackt finden; ich führe deshalb zu meiner Rechtfertigung einen Ausspruch von Fechner an, dessen Autorität in Beurtheilung von Farbennüancen wohl Niemand in Frage stellen wird: „Statt zu sagen, ich sehe es entweder grünlich oder röthlich, ist indess richtiger zu sagen, ich sehe beide Nüancen zugleich im Gemenge neben einander; es kann aber das Auge leicht mehr auf die eine oder die andere Färbung reflectiren." (Poggendf. Ann. Bd. 44. p. 223).

Grünes Glas (überfangen; lässt vom Tageslichte durch: wenig Roth, viel Gelb, wenig Blau, fast kein Violet).

Der Funken erscheint lichtstärker, als durch Roth, und zwar grün, mit grünem Hofe. Im Nachbilde erscheint der nicht scharf begrenzte Funken und seine nächste Umgebung blaugrün und ist mit einem röthlich gelben Nebel umgeben. Dieser Nebel zieht sich, indem er den Hof gleichsam verzehrt, schnell zu einem roth tingirten Striche zusammen. Dieser bleibt bis zuletzt und löst sich entweder in einen Hof auf oder verschwindet. Ein Hof um den hellen Streifen war nicht wahrzunehmen.

Blaues Glas (überfangen; lässt vom Tageslichte alles durch ausser Violet).

Der Funken ist fast eben so lichtstark, als wenn er ohne Glas gesehen wird; er ist blau, mit blauem Hofe. Das Nachbild ist gleichfalls blau, der Rand des Hofes dagegen gelbroth; er verzehrt schnell den blauen Hof und Kern und schrumpft zu einem röthlichen Streifen zusammen. Dieser umgiebt sich oft mit einem gelben Hofe;

manchmal aber bleibt er ohne Hof; wird dabei gelb, später weiss; nachher wird er wieder gelblich, dann röthlich tingirt und in diesen letzten Abwandlungen tritt immer ein Hof auf. Ist der Hof intensiv, so ist er von dem helleren Kern durch einen dunkeln Ring getrennt. Zuletzt löst sich alles in einen gelben Hof auf.

Gelbes Glas (lässt durch: sehr wenig Blau und Violet, sonst Alles).

Beim Ueberspringen des Funkens erscheint eine lichtstarke, gelbröthliche Scheibe, in der Mitte am hellsten, nach aussen an Intensität abnehmend bis zu der Grösse etwa eines Handtellers: um diesen ein rein weisslicher Nebel von etwa Tellergrösse. Dieser äussere Hof verschwindet sogleich, und das Nachbild ist ein gelblich grüner Kern, mit einem röthlich gelben Hofe umgeben. Nach dem Grün erscheint Blau, dann Gelb. Wahrend dessen bleibt die Scheibe und nun erst schrumpft sie zu dem horizontalen Kernstreifen zusammen, der nur noch sehr wenig röthlich tingirt ist. Er wird immer mehr weiss und nimmt zuletzt einen bläulichen Schein an. Zugleich tritt ein gelber Hof auf, der durch einen dunkeln Ring von dem Kernstreifen getrennt ist; dann wird alles undeutlich.

Violettes Glas (lässt alles durch, aber nur sehr wenig gelb).

Der Funken ist ungefähr so intensiv, wie bei Grün; schön violet mit gleichem Hofe. Im Nachbilde ist ein grosser Hof, in dem noch etwas Blaues ausser dem Gelb zu bemerken ist, indess habe ich nie recht die Form des Blauen bestimmen können. Er zieht sich auf einen zuerst blauen, dann gelben, oder gleich zu einem gelben Streifen zusammen, der immer schmaler und weisser wird und sich endlich in einen unbestimmten Fleck auflöst. Ein Hof fehlt in den letzten Phasen.

Die Variationen der vollständigsten Beobachtungen beziehen sich zunächst auf einen Zwischenraum zwischen dem Erscheinen des Funkens und dem Auftreten des Nachbildes, in welchem das ganze Gesichtsfeld dunkel ist. Mitunter erscheint das Nachbild indess unmittelbar nach dem Funken und untrennbar von ihm. Worauf diese Verschiedenheit beruht, vermag ich nicht anzugeben, vielleicht wird

sie durch Augenlidbewegungen im Momente nach dem Funken bedingt, indess weiss ich dann wieder nicht, ob eine Augenlidbewegung oder das Unterbleiben derselben jene Dunkelheit des Gesichtsfeldes bedingt. Ich habe dies auch unter andern Umständen (s. 4.) beobachtet. Ferner finden Verschiedenheiten in dem Erscheinen des Nachbildhofes statt so wie in seiner Grösse und Deutlichkeit. — Endlich verschwindet das Nachbild manchmal ohne Hof, manchmal löst es sich in einen Hof auf.

Abweichend von den Experimenten mit Sonnen- und Lampenlicht zeigt sich der Hof nicht complementär gefärbt; er ist fast immer gleichfarbig, während des Ueberspringens von Funken, und im Nachbilde pflegt auch nur die äusserste Peripherie anders und zwar öfters complementär gefärbt zu sein. In späteren Stadien ist der Hof immer gelb. Der Kern zeigt sich immer überwiegend weiss, seine nicht starken Farbennüancen lassen sich nicht unter eine Regel bringen; hiervon liegt die Schuld wohl mit an der Unreinheit der Gläser. — Immer aber ist das Nachbild positiv, und wird erst im letzten Momente negativ, d. h. dunkel in einem hellen Nebel. Das nachherige Erscheinen eines positiven Nachbildes habe ich nicht beobachtet.

Merkwürdig ist das Auftreten eines positiven complementären Nachbildes bei dem rothen Glase. Es ist dieselbe Erscheinung, welche Brücke bei Kerzenlicht beobachtet und in seiner Abhandlung (Poggendorff's Annalen Bd. 84) p. 443 beschrieben hat, und die ich ebenso, wie Brücke, sehe, nur hat bei mir das grüne Nachbild einen stark bläulichen Teint. Wenn das Experiment nicht sogleich gelingen sollte, so kann man es dadurch dahin bringen, ein intensives grünes positives Nachbild zu erhalten, dass man während des Beobachtens der Flamme die Augen auf Momente schliesst und gleich nachher wieder auf das Licht sieht.

Ich habe noch einer eigenthümlichen Erscheinung zu gedenken, von der ich unsicher bin, ob sie mit den Nachbildern in einem Zusammenhange steht. Ich habe nämlich dreimal, an drei verschiedenen Tagen, nachdem ich eben den Funken durch rothes Glas beobachtet hatte, und einmal, als ich ihn durch grünes Glas gesehen hatte, und

einige Zeit, nachdem das Nachbild verschwunden war, in das Finstere starrte, einen hellen Fleck von röthlicher Farbe bemerkt, und von der Grösse eines Handtellers, der alsbald im Centrum grünlich zu werden anfing und allmälig ganz grün wurde, dann wieder vom Centrum aus röthlich wurde, dann wieder grünlich und sofort. Das eine Mal habe ich diesen Wechsel 15mal, ein anderes Mal, wo ich gezählt habe, 10mal erfolgen sehen. Da ich so etwas weder sonst nach dem Betrachten des Funkens, oder einer Flamme etc. bemerkt habe, aber auch nicht später nach längerem Verweilen im Finstern, so weiss ich nicht, ob diese Erscheinung als Nachbild zu deuten und mit dem Funken in Zusammenhang zu bringen ist, oder nicht.

4. Nachbilder von Objecten, welche durch den Funken beleuchtet werden.

Zur Untersuchung dieser Reihe von Nachbildern diente die im vierten Bande dieser Zeitschrift pag. 217 beschriebene Vorrichtung: weisse Papierbogen mit rothen, schwarzen oder blauen, je 1 Quadratcentimeter grossen und je 1 Centimeter von einander entfernten Quadraten; die Bogen sind zu einem Halbcylinder gebogen, in dessen Axe sich das Auge, den Quadraten gegenüber befindet. Zwei Fuss davon entfernt in der Verlängerung der Axe des Cylinders befinden sich die Kugeln der Riess'schen Flasche, so dass der überspringende Funken die Bogen mit den Quadraten ziemlich gleichmässig beleuchtet. In Figur II sieht man die Vorrichtung so, wie sie gebraucht wurde, aufgestellt; in A ist das Auge, das unterste (mittelste) Quadrat F wird fixirt, in E springt der Funken über. — Ausserdem hatte ich Bogen mit verschiedenen Figuren von 1 Quadratcentimeter Flächeninhalt in Zwischenräumen von je 1 Centimeter beklebt; es waren Kreise, Halbkreise, recht-, spitz- und stumpfwinklige Dreiecke, Parallelogramme und Quadrate, welche unregelmässig mit einander wechselten, von rother und schwarzer Farbe. Sie sollten dazu dienen, angeben zu können, wie weit vom Centrum entfernt ein Vorgang an einer Figur stattfände, weil es sich in den früheren Versuchen gezeigt hatte, dass das Zählen von Quadraten

bei unbewegter Retina nur sehr mangelhaft geschehen kann. Indess wird dadurch die Ortsangabe auch nur wenig erleichtert, und da ausserdem farbige Figuren von gleichem Flächeninhalte keineswegs gleichwerthig für den Farbensinn sind, so gebe ich den Quadraten den Vorzug. Ferner hatte ich tiefschwarze Papierbogen mit weissen Quadraten und Figuren beklebt. Auf diese Weise wurde es möglich, zugleich die directen und die peripherischen Nachbilder zu prüfen.

Schwarze Quadrate auf weissem Grunde. Im Augenblicke, wo der Funken überspringt, erscheint die ganze Reihe der Quadrate scharf begrenzt, der weisse Grund *etwas bläulich* tingirt. Scheinbar *gleichzeitig* aber erscheinen mit den schwarzen Quadraten zugleich an derselben Stelle *glänzendhelle Quadrate* mit bläulichem Teint. Darauf erscheinen sogleich die Quadrate wieder und zwar als schwarze Quadrate auf weissem, etwas gelblichem Grunde. Die Quadrate des Nachbildes erscheinen nur ganz kurze Zeit scharf begrenzt; zuerst wird der Rand der peripherisch gelegenen Quadrate verwischt, dies schreitet allmälig nach dem fixirten Quadrate hin fort; dabei wird das Nachbild matter, die Quadrate fliessen endlich zusammen, und es bleibt nur ein schwarzer Streifen von wenigstens 3 Centimeter Breite mit verschwommenen Rändern auf einem helleren Grunde. Das Bild wird immer lichtschwächer und undeutlicher und verschwindet endlich ganz. — Ebenso verhalten sich die Figuren, indessen glaube ich mich bei ihnen und später auch bei den Quadraten überzeugt zu haben, dass die vorerwähnten, scheinbar gleichzeitigen glänzenden Nachbilder nur in der mehr centralen Region sichtbar sind, so dass nur 7—10 Figuren oder Quadrate glänzend erscheinen; weiter seitlich konnte ich sie nicht mit Bestimmtheit wahrnehmen. —

Ich habe mich nun sehr bemüht, nachher noch negative Nachbilder zu bemerken, indess habe ich nur einige Male einen matten Streifen im Dunkel zu sehen geglaubt. Eine eigentliche *Oscillation* fehlt daher; da aber in den meisten Versuchen das positive Nachbild seine volle Intensität erst allmälig erlangte, in einigen Versuchen die

Quadrate im Anfange des Nachbildes sogar ganz verwaschen und undeutlich erschienen, im weitern Verlaufe aber schwärzer und scharf begrenzt wurden, so, glaube ich, kann man hierin, wenn man der Plateau'schen Darstellungsweise folgt, die erste Curve einer Oscillation sehen, welche folgende Form haben würde (Figur III):

Af bedeutet die Zeit, Ab die Stärke des momentanen objectiven Gesichtseindruckes, Ac das scheinbar gleichzeitige negative complementäre Bild; die Curve α entspricht der Erscheinung, wo der objetive Eindruck sofort in das positive Nachbild übergeht; die Curve β, wo das Bild im Anfange schwächer ist, aber dann wieder intensiver wird, die Curve γ, wenn ein Zeitraum, wo alles dunkel ist, zwischen dem objectiven Eindrucke und dem positiven Nachbilde liegt. Ac gilt für alle 3 Curven. Ob die dunkeln Quadrate und ihre negativen Bilder gleichzeitig erscheinen, oder ob nur ein so kurzes Intervall zwischen ihnen liegt, dass der Zeitsinn nicht scharf genug ist, um es wahrzunehmen, muss zweifelhaft bleiben.

Rothe Quadrate auf weissem Grunde. Im Augenblicke, wo der Funken überspringt, erscheinen die Quadrate mehr oder weniger intensiv roth gefärbt, je nach der Stärke des Funkens, immer aber scharf begrenzt. Wieder scheinbar gleichzeitig mit ihnen erscheinen hellgrüne, glänzend helle Quadrate, die rothen nicht ganz deckend, sondern etwas verschoben gegen sie. Der weisse Grund erscheint grünlich tingirt. Dann tritt unmittelbar nachher das positive Nachbild auf, indem die Quadrate nur noch wenig oder gar nicht mehr roth tingirt sind und sich mehr dem Schwarz nähern. Schnell werden sie ganz schwarz und verhalten sich nun weiterhin ebenso wie die schwarzen, d. h. sie verschmelzen unter einander, so dass nur noch ein breiter, dunkler verschwommener Streifen durch das helle Gesichtsfeld geht. An der Peripherie fängt das Undeutlichwerden der Quadrate meist zuerst an, und schreitet dann schnell nach dem Centrum fort; indess kann auch die ganze Reihe der Quadrate gleichzeitig undeutlich werden. Der dunkle Streifen verblasst und verschwindet allmälig, indem die Finsterniss obsiegt. — Auch bei den rothen Quadraten erschien das positive Nachbild mitunter

im Anfange mit verwaschenen Quadraten, die erst allmälig scharf begrenzt wurden; indess hatte die Färbung derselben ihren eignen Gang, denn die Farbe war zu Anfang immer am meisten roth und wurde, mochten die Quadrate schnell oder langsam scharf begrenzt werden, immer schnell schwarz. Positiv muss man das Nachbild trotzdem nennen, denn roth ist ja dunkler als weiss.

Blaue Quadrate auf Weiss. Diese ergeben keine bestimmten Resultate; da nämlich der Funken sehr viel Blau enthält, so kann der Contrast zwischen den blauen Quadraten und dem weissen Grunde nicht sehr bedeutend sein; die Quadrate erscheinen daher von einem sehr hellen Blau und grenzen sich nicht scharf gegen ihre Umgebung ab. Die negativen gleichzeitigen Bilder wurden daher gar nicht bemerkt, der Grund war kaum gelblich tingirt und die blauen Nachbilder sehr matt und undeutlich.

Weisse Quadrate auf schwarzem Grunde. Diese erscheinen beim Ueberspringen des Funkens schwach bläulich tingirt. Negative Bilder waren nicht zu bemerken. Im positiven Nachbilde traten sie als schmutzig olivengrün gefärbt auf, kamen unregelmässig und verschwanden auch so, dass bald das eine, bald das andere undeutlich wurde. Zuletzt war nur noch ein etwas hellerer Streifen auf dunkelm Grunde. Ebenso verhielten sich die Figuren.

Veränderungen durch die Stärke des Funkens waren zu bemerken in Bezug auf die Intensität und die Dauer der Nachbilder. Das objective Bild ist licht- und farbenschwächer, die negativen Quadrate treten nur undeutlich auf und sind bei einer Entfernung der Kugeln von 4,5 Mm. gar nicht mehr zu bemerken. (Sie dauern ferner bei einem starken Funken, wie es scheint, länger, als bei einem mittleren, wenn hier nicht eine ähnliche Sinnestäuschung obwaltet, wie sie Volkmann bei den Herztönen gefunden hat.) Merkwürdigerweise dauert aber umgekehrt das positive Nachbild bedeutend und zwar mehr als noch einmal so lange bei einem schwachen, als bei einem starken Funken. Der Unterschied ist ausserordentlich auffallend, und ich habe so viel vergleichende Beobachtungen gemacht, dass ich dies mit der grössten Sicherheit be-

haupten kann. Dieser Unterschied tritt besonders deutlich hervor, wenn, wie dies bei grosser Entfernung der Kugeln leicht vorkommt, der Funken, nachdem er das erste Mal zwischen den Kugeln übergesprungen ist, das nächste Mal von einer Belegung der Flasche zur andern überspringt; in letzterem Falle ist er sehr lichtschwach. Es fällt mit dieser Beobachtung eine Behauptung Plateau's gegen Scherffer. Scherffer hatte zur Erklärung der Nachbilder im Finstern, die ihm viele Schwierigkeiten machte, gesagt, pag. 17: „Zu diesem kömmt noch, dass, weil wir keinen Körper von einer einfachen Farbe haben, alle Gattungen des Lichts, z. B. von einem rothen zurückstrahlen, obschon die rothe die Oberhand hat. Und diese Strahlen sind nicht so wenig, als man sich vielleicht einbildet, denn dergleichen zurückgeworfenes Licht lässt sich sehr deutlich durch ein gläsernes Dreieck in die sieben Hauptfarben absondern. Wenn man alle diese Strahlen zusammennimmt, vielleicht verursachen sie in dem Auge eine gemässigte Bewegung, welche eben darum länger fortdauert, als die allzugrosse, welche von der eignen Farbe der Figur ist erregt worden, und ehender undeutlich wird, nachdem der äussere Gegenstand zu wirken aufhört.“

Diese letztere Möglichkeit will nun Plateau in seiner Abhandlung S. 15 nicht zugeben: „Je n'ai pas besoin d'insister sur le peu de fondement de cette nouvelle manière d'envisager les couleurs accidentelles, à laquelle du reste personne n'a fait attention. Elle repose en effet sur ce principe que rien ne justifie et qui a contre lui toutes les analogies et toutes les probabilités, qu'une impression forte subsiste moins long-temps, après la cessation de la cause extérieure, qu'une impression plus faible. Elle conduirait d'ailleurs à cette conséquence évidemment fausse, que les couleurs accidentelles ont moins de durée lorsque l'objet qui les a fait naître était plus éclatant.“ Hier haben wir aber beim elektrischen Funken ein Beispiel, dass die Nachbilder von geringerer Dauer sind, wenn ein starker Eindruck gemacht worden ist, als wenn derselbe schwach gewesen ist. Es ist hier nicht der Ort, auf die Scherffer-Plateau'sche Controverse einzugehen, indess sieht man daraus, wie

vorsichtig man mit theoretischen Deductionen bei den Nachbildern sein muss, und es ist nach dem oben erwähnten die Möglichkeit nicht ausser Acht zu lassen, dass ein ähnliches Verhalten gegen starke und schwache Eindrücke die eigenthümliche Reaction der peripherischen Netzhauttheile gegen die Nachbilder bedingt. — Man wird nun freilich verlangen, dass ich diese Angabe mit bestimmten Zahlen belege; da mir indess genaue für diesen Zweck passende Instrumente nicht zur Verfügung standen, und die Grenzen der Nachbilder überhaupt nicht so leicht zu bestimmen sind, so habe ich es vorgezogen, statt ungenauer Zahlenangaben lieber gar keine zu machen, und kann nur wiederholen, dass bei einem Funken von 10 Mm. Länge das positive Nachbild der Quadrate nur halb so lange dauert, als bei einem Funken von 4,5 Mm. Länge. Hoffentlich bietet sich mir bald Gelegenheit, diesen Mangel nachzuholen.

Da ich bemerkt hatte, dass bei den schwarzen und rothen Quadraten auf weissem Grunde, so wie bei den weissen Quadraten auf schwarzem Grunde das Weiss nicht rein weiss, sondern mit einer Farbennüance erschien, so untersuchte ich noch farbige Streifen von 30 Ctm. Länge und 8 Ctm. Breite, auf welche schwarze oder weisse Quadratcentimeter je 1 Centimeter von einander entfernt aufgeklebt waren. Diese Streifen wurden auf einen weissen Papierbogen oder auf schwarzen Sammet an meinem Apparate gelegt und bei Funken von 10 Mm. Länge beobachtet. Das Bild auf die Fläche projicirt war dann so (s. Figur IV):

a b bedeutet die Reihe der Quadrate auf dem gefärbten Streifen c c; d d bezeichnet die weisse resp. schwarze Unterlage.

1) a. Rother Streifen mit weissen Quadraten auf weissem Papier.

Der Streifen erscheint beim Ueberspringen des Funkens roth, der Grund grün tingirt; ebenso die Quadrate. Gleichzeitig oder unmittelbar nachher erscheint das negative complementäre Bild momentan: hellgrüner Streifen, auf welchem die Quadrate nicht zu bemerken sind. Dann tiefes Dunkel. Aus diesem taucht ein tief grün

gefärbter Streifen auf, mit undeutlichen röthlichen Quadraten; der Streifen wird etwas stärker grün und hebt sich mehr von dem röthlichen Grunde ab. Dann wird er wieder dunkel und verschwimmt mit dem Grunde.

Ebenso verhält sich der rothe Streifen mit den schwarzen Quadraten; nur bleiben die Quadrate immer schwarz auch im Nachbilde, ohne negative Bilder zu entwickeln.

1) b. Rother Streifen mit weissen Quadraten auf schwarzem Sammet.

Beim Ueberspringen des Funkens Roth mit grünlichen Quadraten. Dann sofort ziemlich dunkelgrünes Nachbild, welches bleibt; später treten in demselben röthliche Quadrate auf; das Grün wird sehr bald bläulich und später fast ganz blau, von etwas schmutzigem Teint. Die Quadrate kommen unregelmässig und trennen sich erst allmälig von einander. Dann verschwinden sie auch unregelmässig, indem alles dunkel wird. — Ebenso ist es bei dem Streifen mit den schwarzen Quadraten.

2) Grüner Streifen.

a. Auf weissem Papier gab derselbe kein bestimmtes Resultat, wahrscheinlich weil das Grün zu hell war und zu wenig gegen den Grund contrastirte.

b. Mit weissen Quadraten auf schwarzem Sammet. Mit dem schwach grünen Bilde beim Funken erscheinen auch die weissen Quadrate mit röthlichem Teint. Unmittelbar nach dem Funken, scheinbar gleichzeitig mit ihm, eine röthliche Färbung des Streifens; dann erscheint der Streifen im Nachbilde weiss; ob er röthlich oder grünlich tingirt ist, lässt sich nicht unterscheiden.

c. Mit schwarzen Quadraten auf schwarzem Sammet. Der Streifen erscheint beim Funken nur schwach grün, überwiegend weiss; im Nachbilde röthlich tingirt. Von negativen Nachbildern der Quadrate ist nichts zu bemerken.

3. Blaue Streifen mit weissen Quadraten auf Weiss.

Der Streifen erscheint hellblau mit gelben Quadraten auf gelbrothem Grunde. Nachher ist alles dunkel. Aus dem Dunkel entwickelt sich ein dunkler Streifen auf Grau, welcher immer heller wird und zuletzt schmutzig hellblau aussieht. Der Grund hellt sich gleichfalls auf und wird röthlich; die Quadrate erscheinen hell, gelb-röthlich tingirt und nicht alle gleich deutlich. Der Streifen verschwindet von den Seiten her.

b. Blauer Streifen mit schwarzen Quadraten auf Weiss. Erscheint als Blau mit schwarzen Quadraten auf gelbrothem Grunde. Gleichzeitig ein gelbes Nachbild von den Streifen. Dann schmutzig graublaues Nachbild mit schwarzen Quadraten auf gelbröthlichem Grunde.

c. Blauer Streifen mit weissen Quadraten auf schwarzem Sammet. Mit dem Blau während des Funkens erscheinen die Quadrate gelb glänzend. Darauf erscheint ein intensiv gelbes Nachbild, welches bleibt. Auf ihm entwickeln sich in unregelmässiger Reihenfolge weisse glänzende, förmlich abgehobene Quadrate, die auch wieder unregelmässig matt werden und verschwinden. Der Streifen verschwindet etwas später, bleibt aber bis zu Ende gelb.

d. Blaue Streifen mit schwarzen Quadraten auf schwarzem Sammet. Während des Funkens etwas matt blau, gleichzeitig ein weisses Nachbild; darnach in einigen Versuchen alles dunkel, in andern sogleich ein gelbes Nachbild mit schwarzen Quadraten; das Gelb ist etwas grauröthlich tingirt.

4) Gelber Streifen mit weissen Quadraten. Unterlage weiss.

Erscheint während des Funkens als Gelb auf bläulich tingirtem Grunde, gleichzeitig mit ihm ein schönes lichtes Blau. Dann ist alles dunkel. Aus der Finsterniss taucht ein dunkelblauer Streifen auf; der Streifen hellt sich auf, es erscheint ein grauer Grund; dann erscheint der Streifen blau auf röthlichem Grunde mit röthlichen Quadraten.

b. Mit schwarzen Quadraten. Der Streifen erscheint gelb mit schwarzen Quadraten auf bläulichem Grunde; gleichzeitig der Streifen dunkelblau ohne Quadrate. Dann alles dunkel. Darauf wird der Streifen intensiv blau mit schwarzen Quadraten; das Blau wird heller, die Quadrate bleiben schwarz, der Grund bleibt röthlichgelb bis zu Ende.

c. Gelber Streifen mit weissen Quadraten; Unterlage schwarz. Er erscheint beim Funken gelb mit bläulich tingirten weissen Quadraten. Dann sogleich schön blau; dies wird schnell hellblau und fast weiss mit schönen gelblichen Quadraten, die unregelmässig kommen und verschwinden.

d. Mit schwarzen Quadraten. Erscheint beim Funken gelb mit schwarzen Quadraten, gleichzeitig hellblau; dann sofort gelb mit schwarzen Quadraten und bleibt bis zu Ende gelb.

Gemeinschaftlich bei allen diesen Versuchen und in Uebereinstimmung mit den früheren Versuchen, wo Objecte durch den Funken erleuchtet wurden, zeigt sich das länger dauernde und constant auftretende Nachbild stets positiv, d. h. das Helle im Object ist auch hell im Nachbilde und umgekehrt. So sieht man auch Gegenstände und Personen, die sich in dem finstern Zimmer, welches durch den Funken erleuchtet wird, befinden, im Nachbilde ebenso, wie während des Funkens, und ihr Beharren im Nachbilde sowie ihr allmäliges Vergehen macht einen komisch unheimlichen Eindruck. Diese Nachbilder verhalten sich also gerade umgekehrt, wie die nach langem Betrachten der Objecte entstehenden, welche immer nur negativ erscheinen.

Dagegen zeigen sich nun grosse Verschiedenheiten in der Farbe der Nachbilder, denn sie sind bald complementär, bald gleichfarbig, wie die folgende Tabelle zeigt.

Complementäres Nachbild.			Gleichfarbiges Nachbild.		
Streifen	Quadrate	Unterlage	Streifen	Quadrate	Unterlage
Roth	weiss	weiss			
ditto	ditto	schwarz			
Blau	weiss	schwarz	Blau	weiss	weiss
Blau	schwarz	schwarz	Blau	schwarz	weiss
Gelb	weiss	weiss	Gelb	schwarz	schwarz
Gelb	schwarz	weiss			
Gelb	weiss	schwarz			

Eclatanter konnte sich die Brückesche Warnung wohl nicht bewahrheiten, „man möge vorsichtiger in der Verallgemeinerung der gefundenen Sätze zu Werke gehen, und nicht ohne weiteres aus einer Erscheinung, welche man bei einer Farbe wahrgenommen hat, auf analoge Erscheinungen bei andern Farben schliessen.“

Völlig verdutzt gemacht hat mich das Verhalten des Roth. Die Quadrate auf dem weissen Papierbogen und der rothe Streifen mit den weissen Quadraten sind von demselben Bogen geschnitten; sie verhalten sich gegen das Prisma ganz gleich und doch erscheinen die ersteren im Nachbilde deutlich roth, der letztere entschieden grün; ich kann nicht glauben, dass ich mich getäuscht habe: ich habe die Experimente mit den rothen Quadraten und mit den rothen Streifen an demselben Tage, unter ganz gleichen Umständen wechselsweise hintereinander angestellt; die Erscheinung blieb immer dieselbe. Das einzig Verschiedene ist die Grösse der rothen Fläche an sich und im Verhältniss zum Weissen, denn während dort im Ganzen nur 30 Quadratcentimeter Roth vorhanden waren, betrug hier die Fläche des Roth 225 Quadratcentimeter. Im diffusen Tageslichte zeigen indess beide Objecte das Nachbild von gleicher complementärer Farbe. Jedenfalls würden zur Aufstellung eines solchen Satzes, dass die Grösse einer farbigen Fläche dafür maassgebend ist, ob das Nachbild von derselben oder von der complementären Farbe ist, neue Versuche

nothwendig sein, um so mehr, da in beiden Fällen der primäre, objective Eindruck und das scheinbar gleichzeitige negative Nachbild gleich waren. Jedenfalls wird man aber an die Möglichkeit eines solchen Verhaltens denken, und auf die Grösse der das Nachbild erzeugenden Fläche aufmerksam sein müssen. Auch muss ich noch zur Stütze dieses Parodoxons anführen, dass die weissen Quadrate und Figuren auf schwarzem Grunde ganz anders nüancirt im Nachbilde erschienen, als der weisse Grund bei den schwarzen Quadraten und Figuren. — Dagegen verhielt sich Blau unter beiden Umständen gleich; es erzeugte auf Weiss immer ein positives Nachbild.

Merkwürdig ist ferner das Verhalten von *Blau* und *Gelb* im positiven Nachbilde. Beide verhalten sich gerade entgegengesetzt. Denn während *Blau* auf schwarzem Grunde und mit schwarzen Quadraten ein *complementäres gelbes* Nachbild liefert, giebt *Gelb* mit schwarzen Quadraten und auf schwarzem Grunde auch ein *gelbes*, also ein *gleichfarbiges* Nachbild. Allerdings ist das Nachbild von Blau nicht rein gelb, sondern mit etwas Grau-Rosa verunreinigt, indessen ist es jedenfalls nicht blau. Wie sehr sich die Nachbilder dieser beiden Farben gleichen, zeigte sich am deutlichsten, als ich beide zugleich auf schwarzen Sammet legte, so dass sie etwa 1 Decimeter von einander entfernt waren, und nun den Funken überspringen liess; die Nachbilder waren sich sehr ähnlich, nur das des blauen Streifens hatte eine graue Beimischung. Diese beiden Farben waren im Tageslichte an Tiefe ziemlich verschieden, und zwar das Blau viel dunkler, im Lichte des elektrischen Funkens aber erschien das Blau viel heller, so dass sie ziemlich als gleich hell angesehen werden konnten. Dasselbe Verhalten zeigt sich, wenn der Grund weiss ist, nur hat dann *Gelb* ein *complementäres blaues*, *Blau* ein *gleichfarbiges blaues* Nachbild. Man sollte nun glauben, dass, da Blau auf schwarzem Grunde ein gelbes Nachbild lieferte, *mochten die Quadrate auf ihm weiss oder schwarz sein*, und Gelb auch ein gelbes, wenn es auf schwarzem Sammet lag und mit *schwarzen* Quadraten beklebt war, — dass auch Gelb mit *weissen* Quadraten auf schwarzem Grunde ein gel-

bes Nachbild geben würde; aber es ist umgekehrt schön blau, also complementär. Allerdings ist es später fast gar nicht mehr gefärbt, indess sprechen seine erste Färbung und die gelbe Färbung der weissen Quadrate dafür, dass es als complementär anzusehen ist. Man erkennt noch mehr, wie vorsichtig man mit Schlüssen und Analogie bei Nachbildern sein muss, wenn man dazu erwägt, dass auch Blau auf weissem Grunde unabhängig von den schwarzen und weissen Quadraten immer ein gleichfarbiges Nachbild lieferte.

Interessant ist jedenfalls die bedeutende Wirkung des Contrastes, dass dieselbe Farbe ein complementäres oder gleichfarbiges Nachbild unter sonst ganz gleichen Umständen liefert, je nachdem der Grund schwarz oder weiss ist, während man doch a priori nur eine Nüancirung des Nachbildes annehmen würde.

Eigenthümlich verhält sich der Contrast der Umgebung gegen die scheinbar gleichzeitigen, schnell vorübergehenden complementären Bilder. Ihr Verhalten ist gewissermassen umgekehrt, wie das der positiven Nachbilder,denn während sie constant complementär gefärbt sind, sind sie bei schwarzer Umgebung positiv, d. h. sie erscheinen hell, während das objective Bild hell auf dunklem Grunde ist; bei weisser Umgebung negativ, sie erscheinen hell, während das Object dunkel auf hellem Grunde ist. Richtiger wird man indess vielleicht sagen: sie erscheinen immer heller als ihr Object und unabhängig von dem Grunde. — Bei den positiven complementären Nachbildern, wenn dieselben unmittelbar dem objectiven Eindruck folgten, habe ich sie gar nicht bemerkt.

Es ist die Frage, wie wir überhaupt diese kurz dauernden complementären Bilder anzusehen haben, ob sie als wirklich gleichzeitig anzusprechen sind, oder ob sie es nur scheinbar sind und dann also in die Kategorie der eigentlichen Nachbilder gehören. Gegen ihre wirkliche Gleichzeitigkeit spricht die Verschiebung derselben gegen das Object, indess ist es ja immerhin fraglich, ob in so kurzer Zeit eine Augenbewegung stattfinden kann. Andrerseits ist zu bedenken, dass sie vielleicht das Object von allen Seiten etwas überragen, wie es auch oft den Anschein hat, und es nur wegen der

Unzulänglichkeit der Beobachtung als eine Verschiebung aufgefasst wird; dass wir ferner vielleicht nur auf die Verschiebung schliessen und sie dann auch wahrzunehmen glauben, weil es gegen unsern Verstand ist, zwei Grössen gleichzeitig an demselben Orte wahrzunehmen. Ist aber die Erscheinung wirklich gleichzeitig, so würde darin der Beweis liegen, dass sich der primäre und der complementäre Eindruck mit einander von Anfang an compliciren (Fechner) und sich nicht succediren (Plateau.). Es würde sich dieser Auffassung eine andere Erscheinung sehr gut anschliessen lassen, nämlich die von mir ganz constant bei allen Farben beobachtete complementäre Färbung des Grundes, wenn derselbe weiss ist, d. h. Licht genug reflectirt, um die Farbennüance wahrnehmen zu lassen. Im Momente des Ueberspringens von Funken tritt also gleichzeitig eine complementare Färbung des Grundes auf. Da nun bei einer längeren Betrachtung eines farbigen Flecks die complementäre Farbe gleichzeitig mit der objectiven auftritt und dieselbe modificirt, so ist es mir wahrscheinlich, dass jene complementäre Färbung nicht bloss den Grund, sondern auch die farbige Fläche selbst überzieht und nun entweder wegen der grösseren Intensität der objectiven Farbe nicht bemerkt wird, oder unter Umständen bemerkt wird und dann jenes stets mit dem Grunde gleich gefärbte, scheinbar gleichzeitige, Bild ihr Ausdruck ist.

Diese complementäre Färbung des Grundes ist auch noch in anderer Rücksicht wichtig, denn sie beweist die Mitbetheiligung der ganzen oder eines grossen Theiles der Retina an dem Eindrucke, der auf einen kleinen Theil derselben gemacht wird. Eine solche sympathische Erregung findet also nicht bloss in Beziehung auf Lichtwahrnehmung, sondern auch auf Farbenwahrnehmung statt, und in diesen Versuchen ist, wie Fechner angiebt, die Affection immer complementär (oder antagonistisch). Dass ich diese längst bekannte complementäre Färbung des Grundes hier zur Sprache bringe, geschieht deswegen, weil ich immer den Verdacht nicht habe los werden können, jene complementäre Färbung sei ein wirkliches Nach-

bild, mittelst Augenbewegungen zu Wege gebracht. Da nun hier die Augenbewegungen ausgeschlossen sind, so findet diese Befürchtung damit ihre Erledigung. Interessant war es mir, dass auch hier das Nachbild des Grundes complementär zu der complementären Färbung des Grundes, also ziemlich gleichfarbig mit dem Objecte erscheint; diese Erscheinung trat besonders schön an den weissen Quadraten auf den bunten Streifen hervor. Ganz gleichfarbig mit dem Object sind übrigens die Quadrate nie, weil eben die Complementar-Farben keine Complementar-Farben sind.

Was nun die Unterschiede zwischen Peripherie und Centrum bei dieser Art von Nachbildern betrifft, so erscheinen erstens die rothen Quadrate beim überspringenden Funken dunkler in der Peripherie als im Centrum; zweitens habe ich auf der Peripherie die scheinbar gleichzeitigen complementären Bilder nicht bemerken können; drittens verblassten und verschwanden die positiven Nachbilder immer von der Peripherie her. Häufig wurde, namentlich bei den weissen Quadraten auf den farbigen Streifen ein unregelmässiges Auftreten und Verschwinden der Quadrate bemerkt, so dass also hierin die Versuche mit unendlich kurzer Beleuchtung übereinstimmen mit den früheren Versuchen im diffusen Tageslichte. Man sieht bei den Versuchen mit dem elektrischen Funken selten die vollständige Reihe der Quadrate im positiven Nachbilde.

Eigenthümlich ist die Ausdehnung der Quadrate, namentlich der schwarzen und rothen auf weissem Grunde. Sie werden verwaschen, dabei aber so gross, dass sie einander erreichen und so einen breiten Streifen formiren, der immer verwaschener und breiter wird, bis er verschwindet. Eine solche Ausdehnung einer dunklen Fläche kann wohl durch fortschreitende sympathische Affection der benachbarten Retinatheile nicht gut erklärt werden; indess ist es auch möglich, dass eigentlich nicht der dunkle Streifen breiter wird, sondern dass die weissen Streifen, die ihn begrenzen, schmäler werden, indem die Retina an den Grenzen des Bildes zuerst aufhört zu empfinden. Sollte wirklich während dieses Vorganges eine Accommodation für die Ferne stattfinden, so könnte diese doch nur die Veränderungen der

Grösse, dagegen weder das Verschmelzen der einzelnen Quadrate, noch das Verwaschenwerden der Begrenzung erklären.

Vergleichen wir endlich die Ergebnisse bei unmittelbarer Betrachtung des Funkens mit denen, wo nur Objecte, die er beleuchtet, betrachtet wurden, so zeigt sich: 1) dass bei den Blendungsbildern durch den elektrischen Funken, abgesehen von dem Farbenwechsel dem positiven Nachbilde noch ein negatives folgt, während bei den letzten Versuchen nur eine positive Phase bemerkbar war. Dies ist wohl durch die Verschiedenheiten in der Stärke des Lichteindrucks bedingt; 2) dass bei beiden die Nachbilder auf der Peripherie positiv sind; 3) dass die Blendungsbilder länger dauern, so dass sich die merkwürdige Einrichtung zeigt, dass der Eindruck eines sehr starken Funkens am längsten dauert; der eines bedeutend schwächern kürzere Zeit und der eines noch schwächern wieder längere Zeit. Hierüber müssen noch genaue Messungen gemacht werden; 4) dass die Mitaffection der Netzhaut dort theilweise sympathisch, andern Theils antagonistisch ist, bei den Versuchen mit beleuchteten Objecten dagegen nur antagonistisch.

Vergleichungen der auf andere Weise hervorgerufenen Nachbilder mit denen des elektrischen Funkens anzustellen, würde zu weit führen; ich behalte mir das für eine grössere Arbeit vor. — Ich schliesse diese Mittheilungen mit der Versicherung, dass ich mir alle Mühe gegeben habe, so aufmerksam und gewissenhaft als möglich die Erscheinungen zu beobachten; indess ist die Beobachtung so schwierig, dass ich wohl Manches übersehen haben mag, was vielleicht Andern zu bemerken gelingt, um so mehr, da die Augen so grosse individuelle Verschiedenheiten in Bezug auf Nachbilder zu haben scheinen. Ich glaube zu derartigen Versuchen um so mehr auffordern zu können, weil sie für die Augen gar nicht anstrengend sind, wenigstens habe ich bis jetzt nicht den mindesten Nachtheil für meine Augen bemerkt. Möge man aber nicht den Ausspruch Scherffer's dabei vergessen, welcher am Schlusse seines Buches sagt: „Ein wesentlicher Nutzen gegenwärtiger Abhandlung muss sein, dass

man sich erinnere, wie leicht es sei, sich in einer Beobachtung zu verirren, wenn es auf die Farben ankommt."

Schliesslich sage ich meinem hochverehrten Freunde Dr. Marbach meinen verbindlichsten Dank für die Bereitwilligkeit, mit der er mir die Gelegenheit zu diesen Versuchen, nebst so manchem guten Rathe gegeben hat.

Resultate.

1) Der elektrische Funken erzeugt trotz seiner kurzen Dauer Nachbilder.
2) Die Nachbilder sind positiv und werden später negativ, wenn der Funken selbst direct angesehen wird.
3) Die Nachbilder haben nur eine positive Phase, wenn sie von Objecten herrühren, welche durch den Funken beleuchtet werden.
4) Die Nachbilder des direct gesehenen Funkens klingen durch verschiedene Farben ab.
5) Die Nachbilder der durch den Funken beleuchteten Objecte sind bald complentär, bald gleichfarbig. Dies ist abhängig von dem Grunde, auf dem die farbige Fläche liegt, von der Farbe an sich, und, wie es scheint, auch von der Grösse der farbigen Fläche.
6) Centrum und Peripherie der Netzhaut unterscheiden sich hauptsächlich in Bezug auf die Deutlichkeit, Färbung und Dauer der Nachbilder.
7) Welche Bedeutung die mit dem Funken scheinbar gleichzeitig auftretenden complementären Bilder haben, ist ungewiss.
8) Auch bei der momentanen Beleuchtung durch den elektrischen Funken wird der Erregungszustand der ganzen übrigen Retina verändert und zwar theils sympathisch, theils antagonistisch.

9) Die Dauer der sowohl bei Betrachtung des Funkens selbst, als auch bei Betrachtung durch ihn beleuchteter Objecte gewonnenen Nachbilder beträgt mehrere Secunden.

10) Die Intensität des Funkens hat einen eigenthümlichen nicht einfachen Einfluss auf die Dauer des Nachbildes.

Breslau, den 15. October 1858.
